



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 112981239 B

(45) 授权公告日 2022. 07. 29

(21) 申请号 202110123032.0	G22C 38/06 (2006.01)
(22) 申请日 2021.01.29	G22C 38/18 (2006.01)
(65) 同一申请的已公布的文献号	G22C 38/60 (2006.01)
申请公布号 CN 112981239 A	G22C 38/20 (2006.01)
(43) 申请公布日 2021.06.18	G22C 38/22 (2006.01)
(73) 专利权人 江阴兴澄特种钢铁有限公司	G22C 38/28 (2006.01)
地址 214400 江苏省无锡市江阴市高新区	G22C 38/40 (2006.01)
滨江东路297号	G22C 38/42 (2006.01)
(72) 发明人 张学诚 卢明霞 余道军 张永启	G22C 38/44 (2006.01)
吕澄 张马云	G22C 38/50 (2006.01)
(74) 专利代理机构 北京中济纬天专利代理有限	G22C 33/04 (2006.01)
公司 11429	G21C 7/06 (2006.01)
专利代理师 赵海波	G21D 8/06 (2006.01)
(51) Int. Cl.	G21D 1/18 (2006.01)
G22C 38/02 (2006.01)	G21D 1/10 (2006.01)
G22C 38/04 (2006.01)	审查员 李剑锋

权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称 部件。

一种调质低碳合金钢及其制造方法

(57) 摘要

本发明涉及一种调质低碳合金钢及其制造方法,钢的化学成分按质量百分比计为C:0.16~0.24%,Si:0.05~0.35%,Mn:1.00~1.50%,Cr:1.00~1.60%,P:≤0.020%,S:0.010~0.050%,Al≤0.060%,N≥0.005%,Cu≤0.20%,Ni≤0.20%,Mo≤0.10%,Ti≤0.010%,[O]≤0.0020%,[H]≤0.0002%,余量为Fe及不可避免的杂质元素。生产流程为初炼—精炼—真空脱气—连铸—连轧—调质—车皮—碾光、抛光—超声波探伤。抗拉强度900-1000MPa;屈服强度≥810Mpa;延伸率≥15%,面缩率≥50%,常温冲击功KU2≥80J;圆钢规格的所述钢二分之一半径处硬度280-310HBW。圆钢规格的钢,其横截面显微组织的索氏体含量为80%-90%,其余显微组织为铁素。本申请低碳调质合金钢相比调质中碳钢拥有更高冲击韧性以及中等的强度,可用于制造冲击韧性要求高而强度要求一般的汽车零

1. 一种调质低碳合金钢,其特征在于:所述钢的化学成分按质量百分比计为C:0.16~0.24%,Si:0.05~0.35%,Mn:1.00~1.50%,Cr:1.00~1.60%,P:≤0.020%,S:0.010~0.050%,Al≤0.060%,N:0.006%~0.023%,Cu≤0.20%,Ni≤0.20%,Mo≤0.10%,Ti≤0.010%, $[O] \leq 0.0020\%$ , $[H] \leq 0.0002\%$ ,余量为Fe及不可避免的杂质元素;

所述钢的制造流程为初炼—精炼—真空脱气—连铸—连轧—调质—车皮—碾光、抛光—超声波探伤,

初炼是在初炼炉中加入废钢与铁水,通过向钢水中吹氧降低钢中的碳含量与硅含量并且达到升温的目的,同时加入石灰造渣去除铁水中的磷;精炼炉加入合金块调整化学成分至设计要求,精炼过程采用扩散脱氧与沉淀脱氧相结合的方式加强脱氧,扩散脱氧采用在精炼炉中加入铝粉的方式实现,沉淀脱氧采用在精炼炉中加入铝块的方式实现;精炼过后将钢水转入真空脱气炉,对钢水脱H;连铸过程采用保护浇铸的方式,让钢水隔绝空气防止钢水二次氧化;

连铸坯入步进式加热炉加热,整个加热过程采用三段式加热:预热段温度为700-900℃,保温时间≥70分钟;加热段温度为1000-1150℃,保温时间≥90分钟;均热段温度为1150-1280℃,保温时间≥120分钟,实现高温均质化;

轧制的整个过程采用纵向轧制,钢材在旋转方向相反的轧辊之间通过,并在轧辊间不断的产生塑性变形,每道次轧制压下率控制在7-20%,连铸方坯经过粗轧、中轧以及精轧:粗轧的轧制温度区间为970-1080℃,粗轧的总压下率控制在23-45%;中轧的轧制温度区间为890-970℃,中轧的总压下率控制在21-43%;精轧的轧制温度区间为800-890℃,精轧的总压下率控制在21-43%,最终轧制变形为圆钢;

热轧后的圆钢在高温状态即≥720℃入保温罩进行缓冷,热轧圆钢缓冷后的微观结构为均匀的铁素体与珠光体;

调质是将热轧圆钢利用感应线圈加热,加热至880-930℃,保温3-7分钟后水淬;淬火后的圆钢进行高温回火,回火温度为500-600℃,回火时间≥120分钟,回火后的圆钢采用喷水的方式进行冷却,调质后获得截面显微组织为80-90%的索氏体和10%-20%的铁素体;

车皮是去除圆钢表面的脱碳层和表面缺陷。

2. 根据权利要求1所述的调质低碳合金钢,其特征在于:所述Al的含量:0.010%~0.055%。

3. 根据权利要求1所述的调质低碳合金钢,其特征在于:所述钢的抗拉强度900-1000MPa;屈服强度≥810MPa;延伸率≥15%,面缩率≥50%,常温冲击功KU2≥80J;圆钢规格的所述钢二分之一半径处硬度280-310HBW。

4. 根据权利要求1所述的调质低碳合金钢,其特征在于:圆钢规格的所述钢,其横截面显微组织的索氏体含量为80%-90%,其余显微组织为铁素体。

5. 根据权利要求1所述的调质低碳合金钢,其特征在于:所述车皮深度为单边0.5mm。

6. 根据权利要求1所述的调质低碳合金钢,其特征在于:所述车皮后的圆钢使用精矫机对其表面进行碾光,碾光后的钢材使用沙袋进行表面抛光,抛光后的圆钢表面粗糙度≤3.2um。

7. 根据权利要求1所述的调质低碳合金钢,其特征在于:超声波探伤按照GB/T 4162-2008中的A级执行,以此作为探伤合格的标准。

8. 根据权利要求1所述的调质低碳合金钢,其特征在于:截面尺寸240mm×240mm规格以上的连铸方坯热轧成直径 $\phi$  10mm~ $\phi$  29mm的圆钢,车皮后圆钢的直径为 $\phi$  9mm~ $\phi$  28mm。

## 一种调质低碳合金钢及其制造方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于铁基合金技术领域,尤其涉及一种汽车零部件用低碳合金钢及其制造方法。

### 背景技术

[0002] 碳含量低于0.25%属于低碳钢,碳含量0.25%~0.65%属于中碳钢,调质低碳合金钢相比传统的调质中碳合金钢拥有更好的冲击韧性。因此,调质低碳合金钢适合制造强度要求中等,而冲击韧性要求较高的汽车零部件材料。

[0003] 现有的低碳合金钢通常采用淬火+低温回火,回火温度150℃-250℃的调质工艺处理,淬火后的组织一般为马氏体与少量的铁素体,马氏体在低温回火时,分解为低碳马氏体和 $\epsilon$ 碳化物组成的混合物,称为低碳回火马氏体,此类低碳回火马氏体虽然强度较高,但是其组织内应力大,易形成微裂纹,并且塑性与韧性较低。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的是提供一种调质低碳合金钢及其制造方法,适合制造强度要求中等,而冲击韧性要求较高的汽车零部件材料。相比调质中碳合金钢,调质低碳合金钢拥有更好的冲击韧性与中等的强度,并且材料性能的生产稳定性更好。

[0005] 本申请低碳合金钢采用淬火+高温回火进行调质处理,淬火后的组织一般为马氏体与少量的铁素体,马氏体在高温回火时形成以铁素体为基体内分布着细而均匀碳化物颗粒小球状碳化物的复相组织,称为索氏体。与低碳合金钢的低温回火马氏体相比,该高温回火索氏体强度虽然不如它高,但是组织内应力更小,组织稳定性好,并且塑性与韧性较高。

[0006] 本发明解决上述问题所采用的技术方案为:一种调质低碳合金钢,所述钢的化学成分按质量百分比计为C:0.16~0.24%,Si:0.05~0.35%,Mn:1.00~1.50%,Cr:1.00~1.60%,P: $\leq$ 0.020%,S:0.010~0.050%,Al $\leq$ 0.060%,N $\geq$ 0.005%,Cu $\leq$ 0.20%,Ni $\leq$ 0.20%,Mo $\leq$ 0.10%,Ti $\leq$ 0.010%,[O] $\leq$ 0.0020%,[H] $\leq$ 0.0002%,余量为Fe及不可避免的杂质元素。

[0007] 本发明调质低碳合金钢各化学元素对应的主要作用和设计依据是:

[0008] 1、C是对钢的强度贡献最大的元素。碳溶解在钢中形成间隙固溶体,起到固溶强化的作用,但是过高的碳含量会降低钢的塑性与韧性。本发明碳含量控制为0.16~0.24%。

[0009] 2、Si在炼钢过程中作为还原剂与脱氧剂加入,硅一定程度提高钢的屈服点与抗拉强度。因此本发明Si含量的范围确定为0.05~0.35%。

[0010] 3、Mn:是提高淬透性最有效的合金元素,它溶入铁素体中有固溶强化的作用,同时能够改善钢的热处理性能,细化珠光体晶粒,提高钢的强度与硬度。但是锰含量超过1.5%时,韧性会明显下降。综上考虑,本发明Mn含量的范围确定为1.00~1.50%。

[0011] 4、Cr:铬是强碳化物形成元素,铬作为合金元素加入,可以提高钢材的强度。

[0012] 同时,铬的加入还可以使钢材淬火回火后具有更好的综合力学性能。但是过高的

Cr会降低钢材的韧性。因此,本发明将Cr含量的范围确定为1.00~1.60%。

[0013] 5、P:是在钢中属于有害元素,磷元素容易在晶间偏聚,增加了钢材的冷脆性。因此,要严格控制钢中的磷含量, $P \leq 0.020\%$ 。

[0014] 6、S:在钢中加入一定含量的硫,可以改善钢材的切削加工性能,减少了切削刀具的磨损,提高了刀具的使用寿命。本发明专利的S含量范围为:0.010~0.050%。

[0015] 7、Al:在钢中用作炼钢脱氧与固氮的作用。铝与氮具有极大的亲和力,容易形成AlN质点,AlN质点弥散分布在钢中,可有效细化钢材的奥氏体晶粒度。本发明将Al含量的范围确定为 $\leq 0.060\%$ ,Al的优选控制范围为0.010%-0.055%。

[0016] 8、N:与Al相结合形成AlN质点,AlN质点可以起到钉扎晶界的作用,阻止钢中晶粒在高温状态下长大,从而起到细化奥氏体晶粒度的作用。本发明专利N含量范围为 $\geq 0.005\%$ ,N的优选控制范围为0.006%-0.023%。

[0017] 9、Cu、Ni、Mo:属于贵金属,钢中加入Cu、Ni、Mo元素将会导致生产成本上升。在本发明钢种中Cu、Ni、Mo均是以残余元素的形式存在。本发明专利的Cu含量的范围为 $\leq 0.20\%$ ,Ni含量范围为 $\leq 0.20\%$ ,Mo含量范围为 $\leq 0.10\%$ 。

[0018] 11、Ti:钛与氮元素具有很强的亲和力,会结合形成TiN夹杂物。TiN属于硬脆型夹杂物,硬度高且不易变形,呈多边形特征且棱角锋利。TiN夹杂物对钢材的疲劳寿命以及冲击韧性产生不利的影响,因此需要严加控制。本发明Ti含量的范围为 $\leq 0.010\%$ 。

[0019] 12、O:属于有害元素,易于与钢中的Al元素相结合,形成非金属夹杂物 $Al_2O_3$ ,降低了钢材的纯净度,对钢材的力学性能有不利的影晌。本发明O含量的范围为 $\leq 0.0020\%$ 。

[0020] 13、H:属于有害元素。钢中的氢原子易于聚合为氢分子,会一定程度降低钢材的强度。本发明H含量的范围为 $\leq 0.0002\%$ 。

[0021] 本发明另提供一种调质低碳合金钢的制造方法,流程主要包括:初炼—精炼—真空脱气—连铸—连轧—调质—车皮—碾光、抛光—超声波探伤。

[0022] 初炼是在初炼炉中加入废钢与铁水,通过向钢水中吹氧降低钢中的碳含量与硅含量并且达到升温的目的,同时加入石灰造渣去除铁水中的磷;精炼炉加入合金块调整化学成分至设计要求,精炼过程采用扩散脱氧与沉淀脱氧相结合的方式加强脱氧,扩散脱氧采用在精炼炉中加入铝粉的方式实现,沉淀脱氧采用在精炼炉中加入铝块的方式实现;精炼过后将钢水转入真空脱气炉,对钢水脱H;连铸过程采用保护浇铸的方式,让钢水隔绝空气防止钢水二次氧化。

[0023] 连铸坯入步进式加热炉加热,整个加热过程采用三段式加热:预热段温度为700-900℃,保温时间 $\geq 70$ 分钟;加热段温度为1000-1150℃,保温时间 $\geq 90$ 分钟;均热段温度为1150-1280℃,保温时间 $\geq 120$ 分钟,实现高温均质化。

[0024] 轧制的整个过程采用纵向轧制,钢材在旋转方向相反的轧辊之间通过,并在轧辊间不断的产生塑性变形,每道次轧制压下率控制在7-20%,连铸方坯经过粗轧、中轧以及精轧,最终轧制变形为圆钢。具体的,粗轧的轧制温度区间为970-1080℃,粗轧的总压下率控制在23-45%;中轧的轧制温度区间为890-970℃,中轧的总压下率控制在21-43%;精轧的轧制温度区间为800-890℃,精轧的总压下率控制在21-43%。

[0025] 热轧后的圆钢在高温状态即 $\geq 720^\circ\text{C}$ 入保温罩进行缓冷,热轧圆钢缓冷后的微观结构为均匀的铁素体与珠光体。

[0026] 调质是将热轧圆钢利用感应线圈加热,加热至880-930℃,保温3-7分钟后水淬;淬火后的圆钢进行高温回火,回火温度为500-600℃,回火时间 $\geq 120$ 分钟,回火后的圆钢采用喷水的方式进行冷却,调质后获得截面显微组织为80-90%的索氏体和10%-20%的铁素体;

[0027] 车皮是去除圆钢表面的脱碳层和表面缺陷,车皮深度为单边0.5mm。车皮后的圆钢使用精矫机对其表面进行碾光,碾光后的钢材使用沙袋进行表面抛光,抛光后的圆钢表面粗糙度 $\leq 3.2\mu\text{m}$ 。超声波探伤按照GB/T 4162-2008中的A级执行,以此作为探伤合格的标准。

[0028] 优选地,截面尺寸240mm $\times$ 240mm规格以上的连铸方坯热轧成直径 $\phi 10\text{mm}\sim\phi 29\text{mm}$ 的圆钢,车皮后圆钢的直径为 $\phi 9\text{mm}\sim\phi 28\text{mm}$ 。

[0029] 与现有技术相比,本发明的优点在于:

[0030] 本申请调质低碳合金钢的抗拉强度900-1000MPa;屈服强度 $\geq 810\text{Mpa}$ ;延伸率 $\geq 15\%$ ,面缩率 $\geq 50\%$ ,常温冲击功KU2 $\geq 80\text{J}$ ;圆钢规格的所述钢二分之一半径处硬度280-310HBW。圆钢规格的钢,其横截面显微组织的索氏体含量为80%-90%,其余显微组织为铁素体。

[0031] 本申请最终得到的低碳调质合金钢相比调质中碳钢拥有更高冲击韧性以及中等的强度。一般认为调质后的材料相对热轧材,其抗拉强度提升了,但是韧性相对于热轧材肯定是下降的。本申请的钢可以用于制造冲击韧性要求高,而强度要求一般的汽车零部件。

## 附图说明

[0032] 图1.本发明实施例1调质圆钢横截面显微组织图 $\times 100$ 倍;

[0033] 图2.本发明实施例1调质圆钢横截面显微组织图 $\times 1000$ 倍;

[0034] 图3.本发明实施例2调质圆钢横截面显微组织图 $\times 100$ 倍;

[0035] 图4.本发明实施例2调质圆钢横截面显微组织图 $\times 1000$ 倍。

## 具体实施方式

[0036] 以下结合实施例对本发明作进一步详细描述,所述实施例是示例性的,旨在用于解释本发明,而不能理解为对本发明的限制。

[0037] 实施例1

[0038] 熔炼采用转炉+精炼炉+RH炉冶炼100吨下述所示化学成分组成的钢,并使用连续铸造工艺制作截面尺寸240mm $\times$ 240mm的连铸方坯,所得连铸坯的化学成分为C:0.21%,Si:0.15%,Mn:1.37%,Cr:1.25%,P:0.010%,S:0.023%,Al:0.030%,N:0.010%,Cu:0.02%,Ni:0.01%,Mo:0.01%,Ti:0.003%,[O]:0.0011%,[H]:0.0001%,余量为Fe及不可避免的杂质元素。

[0039] 初炼是在初炼炉中加入废钢与铁水,通过向钢水中吹氧降低钢中的碳含量与硅含量并且达到升温的目的,同时加入石灰造渣去除铁水中的磷;精炼炉加入合金块调整化学成分至设计要求,精炼过程采用扩散脱氧与沉淀脱氧相结合的方式加强脱氧,扩散脱氧采用在精炼炉中加入铝粉的方式实现,沉淀脱氧采用在精炼炉中加入铝块的方式实现;精炼过后将钢水转入真空脱气炉,对钢水脱H;连铸过程采用保护浇铸的方式,让钢水隔绝空气防止钢水二次氧化。

[0040] 连铸方坯入步进式加热炉加热,预热段温度为760℃,加热时间为90分钟;加热段温度为1060℃,加热时间为120分钟;均热段温度为1195℃,加热时间为130分钟。坯料加热后出加热炉,经粗轧、中轧、精轧,轧制成型的圆钢尺寸为 $\phi$  23mm。热轧圆钢在720℃以上高温态入保温罩内缓冷。

[0041] 轧制圆钢采用感应线圈加热至910℃,保温4分钟后水淬;淬火后的圆钢入连续式回火炉回火,回火温度为550℃,回火时间150分钟,圆钢回火后水冷。调质后的圆钢经车皮机车皮后去除表面脱碳以及表面缺陷,车皮深度为单边0.5mm,车皮后钢材直径为 $\phi$  22mm;车皮后的圆钢经精矫机碾光、沙袋抛光,表面粗糙度 $\leq 2.5\mu\text{m}$ ;最后圆钢按照GB/T 4162-2008中的A级要求进行超声波探伤。

[0042] 成品调质钢材拉伸与冲击按照GB/T2975-2018《钢及钢产品力学性能试验取样位置及试样制备》取样与加工制备,拉伸按照GB/T228.1-2010《金属材料拉伸试验第1部分:室温试验方法》检验,冲击按照GB/T229-2007《金属材料夏比摆锤冲击试验方法》检验。成品调质钢材的力学性能如表1所示:

[0043] 表1

调质钢材力学性能				
抗拉强度 Rm (MPa)	屈服强度 ReL (MPa)	延伸率 A (%)	面缩率 Z (%)	常温冲击功 KU2 (J)
963	827	16	53	121

[0045] 调质钢材硬度按照GB/T 231.1-2018《金属材料布氏硬度试验第1部分:试验方法》检验,调质圆钢二分之一半径处的硬度为303HBW;调质后圆钢横截面显微组织的索氏体含量为90%,其余10%为铁素体,具体参见图1与图2所示。

[0046] 实施例2

[0047] 熔炼采用转炉+精炼炉+RH炉冶炼100吨下述所示化学成分组成的钢,并使用连续铸造,制作截面尺寸240mm $\times$ 240mm的连铸坯,所得连铸坯的化学成分为C:0.22%,Si:0.16%,Mn:1.33%,Cr:1.22%,P:0.011%,S:0.025%,Al:0.029%,N:0.011%,Cu:0.02%,Ni:0.01%,Mo:0.01%,Ti:0.002%,[O]:0.0012%,[H]:0.0001%,余量为Fe及不可避免的杂质元素。

[0048] 初炼是在初炼炉中加入废钢与铁水,通过向钢水中吹氧降低钢中的碳含量与硅含量并且达到升温的目的,同时加入石灰造渣去除铁水中的磷;精炼炉加入合金块调整化学成分至设计要求,精炼过程采用扩散脱氧与沉淀脱氧相结合的方式加强脱氧,扩散脱氧采用在精炼炉中加入铝粉的方式实现,沉淀脱氧采用在精炼炉中加入铝块的方式实现;精炼过后将钢水转入真空脱气炉,对钢水脱H;连铸过程采用保护浇铸的方式,让钢水隔绝空气防止钢水二次氧化。

[0049] 连铸方坯入步进式加热炉加热,预热段温度为770℃,加热时间为85分钟;加热段温度为1065℃,加热时间为115分钟;均热段温度为1205℃,加热时间为130分钟。坯料加热后出加热炉,经粗轧、中轧、精轧,轧制成型的圆钢尺寸为 $\phi$  26mm。

[0050] 轧制圆钢采用感应线圈加热至915℃,保温5分钟后水淬;淬火后的圆钢入连续式

回火炉回火,回火温度为560℃,回火时间为120分钟,圆钢回火后水冷。调质后的圆钢经车皮机车皮后去除表面脱碳以及表面缺陷,车皮深度为单边0.5mm,车皮后钢材直径为 $\phi$ 25mm;车皮后的圆钢经精矫机碾光、沙袋抛光,表面粗糙度 $\leq 2.3\mu\text{m}$ ;最后圆钢按照GB/T 4162-2008中的A级要求进行超声波探伤。

[0051] 成品调质钢材拉伸与冲击按照GB/T2975-2018《钢及钢产品力学性能试验取样位置及试样制备》取样与加工制备,拉伸按照GB/T228.1-2010《金属材料拉伸试验第1部分:室温试验方法》检验,冲击按照GB/T229-2007《金属材料夏比摆锤冲击试验方法》检验。成品调质钢材的力学性能如表2所示:

[0052] 表2

调质钢材力学性能				
抗拉强度 Rm (MPa)	屈服强度 Re1 (MPa)	延伸率 A (%)	面缩率 Z (%)	常温冲击功 KU2 (J)
976	851	17	52	119

[0054] 调质钢材硬度按照GB/T 231.1-2018《金属材料布氏硬度试验第1部分:试验方法》检验,调质圆钢二分之一半径处的硬度为306HBW;调质后圆钢横截面显微组织的索氏体含量为90%,其余10%为铁素体,具体见图3与图4。

[0055] 尽管以上详细地描述了本发明的优选实施例,但是应该清楚地理解,对于本领域的技术人员来说,本发明可以有各种更改和变化。凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。



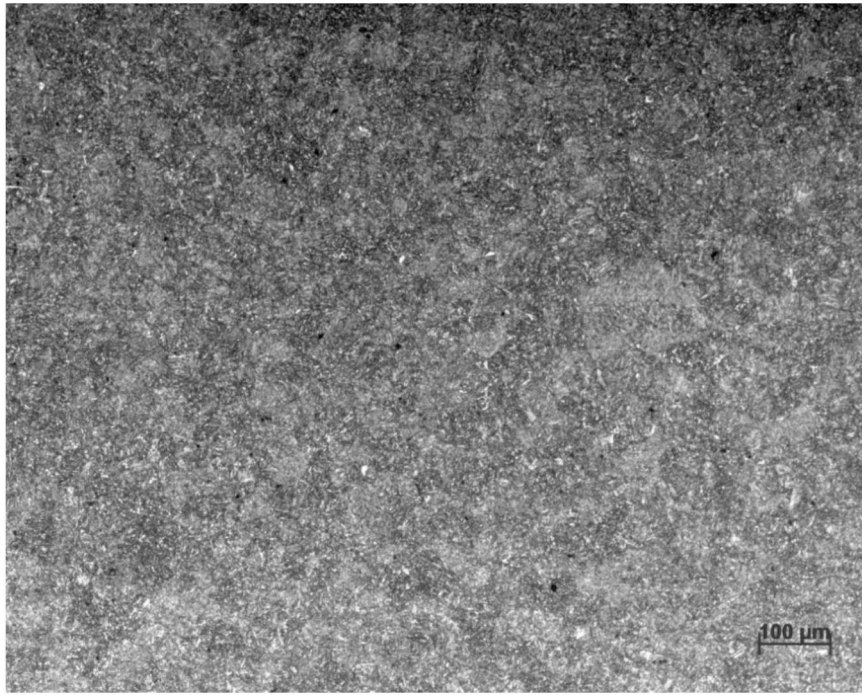


图1

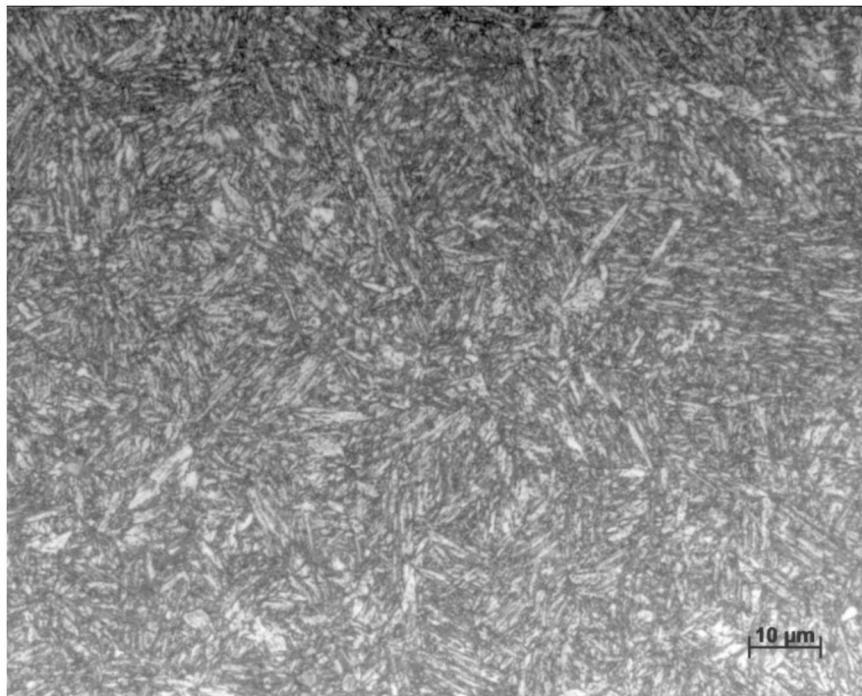


图2

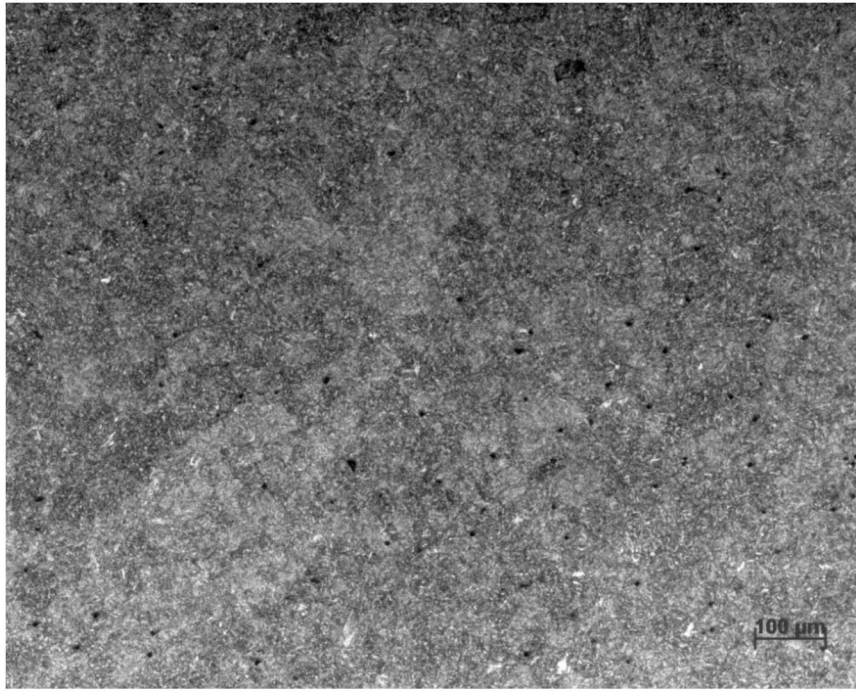


图3

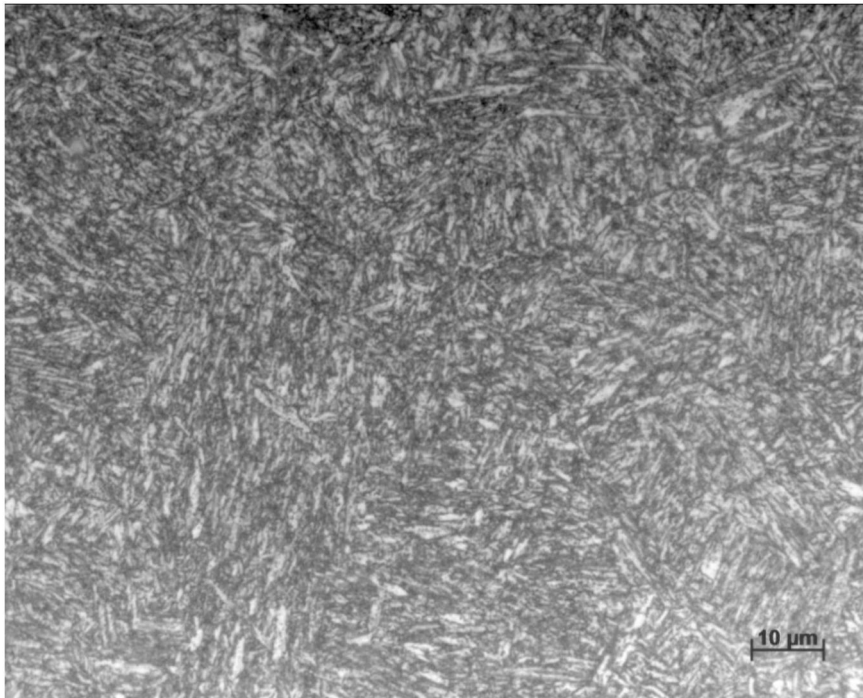


图4